

Estudio de Técnicas apropiadas para modelar aplicaciones de Hidroinformática en el contexto de los Sistemas de Información Ambiental –

Urciuolo Adriana, Iturraspe Rodolfo, Sandoval Sandra, Parson Ariel

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco – Sede Ushuaia, Darwin y Canga, (9410) Ushuaia. TE/FAX: 430892

e-mail: urciuolo@tdfuego.com, iturraspe@tdfuego.com, sandrasandoval@ciudad.com.ar, a-parson@impsat1.com.ar

Resumen

El objetivo general de la línea de investigación es el estudio de técnicas apropiadas para el desarrollo de sistemas de hidroinformática, que permitan manejar la complejidad, representar en forma adecuada la información y simular los procesos relacionados con el ambiente natural, en el contexto de un Sistema de Información ambiental.

En forma específica durante la primera etapa del proyecto, se pretende definir técnicas adecuadas para modelar los sistemas de hidroinformática, mediante la aplicación de un enfoque combinado a un campo particular del dominio: los modelos matemáticos lluvia-escorrentía. Se proponen microarquitecturas de diseño OO (en base a la aplicación de patrones de diseño) aptas para el desarrollo de modelos hidrológicos en el contexto de un Sistema de Información Ambiental y soluciones evolutivas para la optimización de los parámetros del modelo. El proyecto se desarrolla en la Fac. de Ingeniería de la UNPSJB. Asesores externos del proyecto: Dra. Silvia Gordillo (UNLP), PhD. Zbigniew Michalewicz.

Introducción

Los Sistemas de Información ambiental se relacionan con el manejo de los datos correspondientes a los distintos componentes interactuantes del ambiente: el suelo, el agua, el aire y las especies existentes. El presente proyecto de investigación en desarrollo, focaliza su atención en el tratamiento de la información correspondiente a uno de dichos componentes: el agua.

La gran demanda de información ambiental y de herramientas apropiadas para su organización y análisis, así como la necesidad de que las organizaciones de manejo ambiental cuenten con sistemas de información eficientes, motiva actualmente en forma creciente el interés por esta área de investigación. La complejidad de los sistemas relacionados al ambiente hídrico, generó el desarrollo de un gran número y diversidad de modelos computacionales (Bavovic, 1996), que a través de años de evolución dieron surgimiento a un nuevo paradigma que tiene sus bases en la hidráulica computacional: la hidroinformática (Abbot, 1991), el cual se *ocupa del desarrollo y aplicación de modelos matemáticos y tecnología avanzada de información a problemas de hidrología, hidráulica e ingeniería ambiental. Provee sistemas de soporte de decisión basados en computadoras para ser utilizados por ingenieros, autoridades del agua y organismos gubernamentales de la gestión hídrica y ambiental* (IHE Delf, 1996). Los problemas más comunes que manejan estos sistemas son: modelado de ríos, cuencas, agua subterránea, transporte de sedimentos, transporte de contaminantes, calidad de aguas, predicción de crecidas, riesgos hidrológicos, cambio climático, manejo y remediación de suelos y aguas subterráneas contaminadas, conservación de calidad de aguas, etc. El tratamiento de estos problemas, normalmente se realiza en las instituciones, mediante el uso de *modelos matemáticos* que simulan distintas situaciones, asumiendo que los resultados de los mismos, una vez ajustados, corresponden al comportamiento del sistema hidrológico real.

Dentro de este dominio, los modelos computacionales aplicables al campo de la hidrología superficial conocidos como de *lluvia-escorrentía*, sufrieron un proceso de cambios y evolución, determinado por los avances en la computación, a los cuales se fueron adaptando; se distinguen cinco generaciones de modelos. Si bien en la última se han incorporado componentes de inteligencia artificial encapsulando conocimiento de expertos y de otras metodologías para sistemas soporte de toma de decisión, se

observan aún problemas en el software, derivados de la falta de utilización sistemática de técnicas de ingeniería de software apropiadas para el dominio. Pueden citarse:

1. Falta de metodologías adecuadas para el manejo de la complejidad.

La complejidad en el manejo de la información y el modelado de ambientes naturales está presente por muchas razones, sin embargo podríamos citar como fundamentales las siguiente causas:

- Gran cantidad de datos a procesar. Las técnicas clásicas de almacenamiento y manejo de datos no son eficientes en la mayoría de los casos.
- Escala temporal: los fenómenos ambientales cambian a través del tiempo.
- Necesidad de representación espacial de la información.
- Los objetos ambientales presentan estructuras complejas, generalmente se componen de subobjetos.
- Los procesos hidrológicos involucran información de tipo continua y modelos no lineales
- Necesidad de considerar la influencia humana sobre los ecosistemas.
- Manejo de la incertidumbre.
- Consideración de restricciones legales, normativas existentes, etc.
- Requerimiento del estudio de complejas conexiones lógicas entre datos, dada la diversidad de áreas de estudio interrelacionadas.

2. Falta de integración de modelos a sistemas de información hídrica y ambiental.

La mayoría de modelos tradicionales existentes en el mercado, se ejecuta en forma aislada de los sistemas de información hídrica y ambiental de las organizaciones, sin poder utilizar la información disponible en los mismos. En la actualidad, algunos modelos se han comenzado a integrar a SIG (Sistemas de Información Geográfica) para beneficiarse de sus prestaciones de almacenamiento y análisis de datos, pero dicha integración se consigue a través de complejos programas de interface para adecuar las estructuras de datos de modelos y SIG y no a través de una arquitectura común de diseño. Lo mismo sucede en cuanto a la integración con otros modelos de hidrología (por ejemplo de calidad de aguas, transporte de sedimentos, etc.) o de otras áreas, que permitirían agregar funcionalidad a la existente o modificar los métodos de cálculo.

Temas de investigación y desarrollo

De lo expuesto, surge la necesidad de analizar metodologías apropiadas para manejar la complejidad y de caminar hacia una infraestructura común integradora de desarrollo del software para el dominio, que permita la ampliación de la frontera de utilización a nuevos problemas y usuarios y brinde flexibilidad para la actualización y/o extensión de los modelos existentes en las organizaciones.

Las actuales investigaciones en hidroinformática incluyen el estudio de técnicas apropiadas para el manejo de la complejidad y de la incertidumbre.

Se observa que en el software correspondiente a modelos de quinta generación, ha comenzado a utilizarse el enfoque OO, pero básicamente a nivel de los componentes de control del modelo. Abbot postula que la OO debería jugar un rol importante en esta generación, en la modelación de los tipos de datos (Abbot, 1991). No obstante lo propuesto, si bien se encuentran en nuestros días aplicaciones que utilizan este enfoque, sólo se observa la definición de algunas jerarquías de herencia y relaciones básicas, sin el objetivo de obtener diseño reusable.

Dentro de este proyecto de investigación, se propone el desarrollo de microarquitecturas de diseño OO para este tipo de sistemas, basadas en la utilización de patrones, que permitan solucionar en parte, los

problemas planteados: representación adecuada de la información continua, espacio-temporal, flexibilidad en la elección del modelo a utilizar por los componentes de un sistema hidrológico real, modelos integrados a Sistemas de información.

El planteo del proyecto implica una concepción inversa a la tradicional en el modelado de recursos hídricos, donde el énfasis fue siempre puesto en los procesos físicos siendo representados y la forma en la cual obtener los parámetros de un ambiente particular jugaba un rol menor. El énfasis se pone en primer lugar en la descripción del ambiente de un sistema hidrológico real y luego en la definición de los modelos de procesos que puedan utilizar los datos disponibles. Se utilizan metodologías apropiadas para desacoplar la funcionalidad, de modo que distintos modelos independientemente del objetivo de la simulación tengan acceso a los datos observados y almacenados en sistemas de información.

Por otra parte, dada la necesidad de manejar la incertidumbre, se hace necesaria la optimización de parámetros de los modelos para que se ajusten al sistema real que representan.

Existe en la actualidad un incremento cada vez mayor de la utilización de técnicas de computación evolutiva aplicadas a los sistemas de información ambiental (Goldberg, 2000), como herramienta de optimización de funciones y de toma de decisiones; es intención de este proyecto, probar asimismo su adaptabilidad a procesos característicos de las aplicaciones de hidrología superficial, como la optimización de parámetros. Se propone para ello el estudio de diferentes técnicas evolutivas, en particular de algoritmos genéticos a los efectos de determinar la conveniencia de su uso para este fin.

Etapas del Proyecto

1. Análisis del Dominio

Se realizaron los siguientes estudios: Conceptos básicos del paradigma de hidroinformática, Modelos hidrológicos e hidráulicos existentes, Análisis de aplicaciones de software existentes y de documentación relacionadas con los Sistemas de Información Ambiental y con el dominio de estudio en particular, Análisis y comparación de metodologías utilizadas en el dominio.

1.1. Requerimientos candidatos: Se definieron los siguientes requerimientos candidatos para el software del dominio de los sistemas de hidroinformática:

- Proveer una forma adecuada y flexible de modelar los procesos del mundo natural.
- Adaptarse tanto a los objetivos de simulación numérica, resolviendo las ecuaciones correspondientes, como al manejo de la gran cantidad y complejidad de la información disponible.
- Proveer medios para intercambio de datos o integración entre los sistemas de simulación hidráulicos o hidrológicos con herramientas de análisis de impactos ambientales y económicos.
- Facilitar su integración con SIG (Sistemas de información geográfica) a los efectos de manejar el ingreso y almacenamiento de datos, así como la presentación de resultados mediante una interface adecuada.
- Utilizar herramientas adecuadas de simulación y optimización.
- Proveer facilidades para su extensión y modificación, así como para la inclusión de rutinas de simulación existentes

1.2. Definición del contexto

Se realizó el análisis del contexto de las aplicaciones correspondientes a Sistemas de información hídrica y a Modelos lluvia/escorrentía, considerando diferentes niveles de diferente abstracción.

Se definieron los siguientes tipos de objetos, para cada uno de los niveles expuestos:

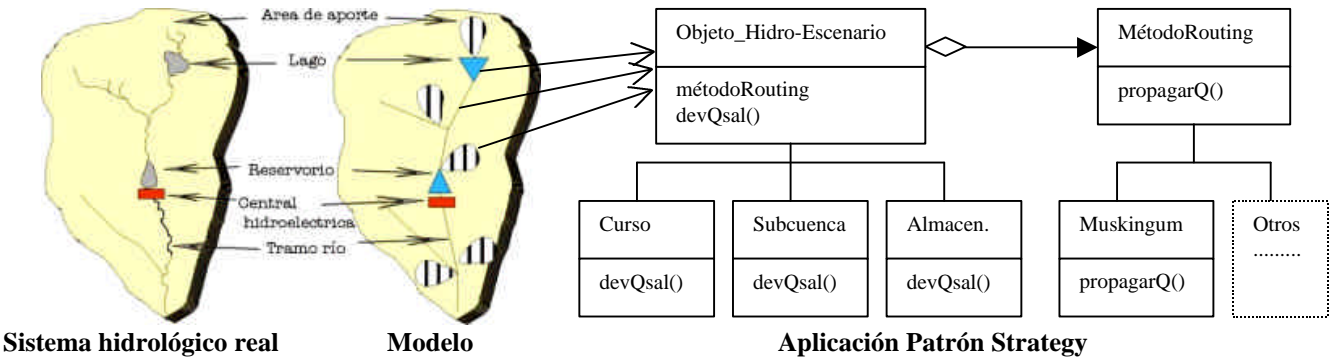
- Nivel de Información hídrico/ambiental: Objeto-Hidrológico. Este nivel está compuesto por los objetos del mundo real que interesa almacenar en un “inventario hídrico” (cuenca, lago, planta, etc.) Las entidades observadas se clasificaron en hidrológicas, climáticas, tecnológicas y ambientales.
- Nivel de representación espacial: GeoObjeto-Hidrológico: en este nivel, se adiciona comportamiento geográfico a aquellos objetos identificados en el nivel anterior, que deban incluir su representación espacio/temporal. Los objetos de este nivel pueden ser ubicados en un mapa de acuerdo a diferentes representaciones (raster, vector, etc.)
- Nivel de escenarios de simulación: Objeto-Hidrológico-Escenario. En este nivel los objetos tienen comportamiento hidrológico, es decir pueden simular diferentes procesos de la hidrología superficial, mediante distintos métodos.

Se analizaron los procesos naturales involucrados y los métodos de simulación correspondientes a diferentes escenarios de modelos lluvia-escorrentía.

2. Diseño

Se definieron microarquitecturas de diseño, en base patrones OO, apropiadas para:

- Composición flexible del sistema hidrológico real a representar. Se utiliza el patrón de diseño Composite (Gamma, 1997), que permite representar jerarquías todo-parte.
- Representación espacial/temporal de los objetos de un sistema hidrológico real. Se utiliza el “Modelo para aplicaciones geográficas”, Gordillo, 1998. Este modelo propone utilizar el patrón Decorator (Gamma, 1997), el cual permite adicionarle características espaciales. Además resuelve la definición de la Locación del objeto (información referente a la posición y al tiempo) y considera la geometría y sistema de referencia utilizado para el objeto.
- Adición de “comportamiento hidrológico” a los objetos del sistema de información seleccionados. Se utiliza el patrón de diseño Decorator, (Gamma, 1997) a los fines de adicionar comportamiento específico a los objetos del sistema de información.
- Representación de procesos correspondientes a modelos conceptuales ESMA y modelos distribuidos basados en el proceso físico. Se utiliza el patrón de diseño Strategy, que define una familia de algoritmos, encapsula cada uno y los hace intercambiables
- Integración de diferentes escenarios de simulación al nivel del Sistema de Información hídrica. Se utilizan los patrones Strategy y Mediator.



Esta etapa del Proyecto aún no ha sido finalizada

3. *Diseño de Procesos utilizando algoritmos genéticos (Próxima etapa)*

En esta etapa del proyecto, se realizará el estudio de distintas técnicas de computación evolutiva y se utilizarán algoritmos genéticos para la optimización de parámetros en modelos lluvia-escorrentía.

Conclusiones y trabajos futuros

Los resultados obtenidos hasta el presente permiten establecer que mediante el uso de técnicas de modelación apropiadas, pueden ser resueltos gran parte de los problemas mencionados en relación a los sistemas de hidroinformática. En particular, el uso de patrones de diseño OO permite obtener: una forma conveniente de modelar información de tipo continua y su representación espacio/temporal, flexibilidad en la selección del método y/o modelo hidrológico a utilizar por parte de los distintos componentes de un sistema de información, composición flexible del sistema hidrológico real a modelar, facilidad para extender las aplicaciones a diferentes tipos de modelos hidrológicos y ambientales y modelos desarrollados en un contexto de sistemas de información ambiental. Durante la próxima etapa del proyecto, se pretende demostrar que los algoritmos genéticos constituyen una valiosa herramienta para el desarrollo de estos sistemas.

En futuros trabajos se espera poder investigar sobre técnicas que permitan la incorporación a estos sistemas de restricciones legales, normativas vigentes y otras reglas; se considera que en este aspecto, sería conveniente analizar la utilización de Inteligencia Artificial en Hidroinformática.

Bibliografía

- ◆ Abbot M.B. Hydroinformatics: Information Technology and the aquatic environment. Avebury Technical, Adlershot, UK, 1991
- ◆ Alfredsen. An object oriented framework for application development and integration in hydroinformatics. Dr. Eng. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, 1998
- ◆ Bavovic, V. Emergence, Evolution, Intelligence: Hydroinformatics. IHE-Delft Balkema, Rotterdam Netherlands, 1996
- ◆ Beven, K., Rainfall-Runoff Modelling. Wiley, 2000
- ◆ Hydroinformatics 98, Copenhagen, Denmark Editors: Babovic, Larsen. Proceedings: A.A. Balkema, Rotterdam, 1998. Hydroinformatics 00, Iowa, USA. Electronic Proceedings : Delft, 2000
- ◆ Booch G., Object-Oriented Analysis and Design With Applications Addison-Wesley Publications, 2nd Edition, 1994
- ◆ Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. The Unified Software Development Process. Addison-Wesley Publications, 1999.
- ◆ Gamma, E. H. Design Patterns. Elements of Reusable OO Software. Addison-Wesley, 1997
- ◆ Gordillo, S. Tesis de Magister en Ingeniería de Software, UNLP. "Modelización de campos continuos en Sistemas de Información Geográfica", 1998
- ◆ Günther, O. Environmental Information Systems. Springer-Verlag, Berlín, Germany, 1998
- ◆ Laurini, R. Thompson, D. Fundamentals of Spatial Information Systems. Academic Press, 1999
- ◆ Babovic, V. Evolutionary Algorithms as a Theme in Water Resources Scientific presentations AIO meeting 93, Delft University of Technology, pp. 21-36, 1993
- ◆ Goldberg, D.E. A Hydroinformatician's Approach to Computational Innovation and the Design of Genetic Algorithms. Publication Illinois Genetic Algorithms Laboratory, 2000
- ◆ Michalewicz, Z. How to Solve It. Springer-Verlag, Berlín Germany, 2000